UNIVERSITÉ DE TOULOUSE

FACULTÉ MIXTE DE MÉDECINE ET DE PHARMACIE

Année 1961 N° 69

Influence de l'Hyperventilation sur l'apnée en plongée libre

(Travail de l'Institut Régional d'Education Physique de l'Université de Toulouse)

Directeur : M. le Professeur BAISSET

THESE

POUR LE DOCTORAT EN MÉDECINE

Présentée et soutenue publiquement en Juin 1961

PAR

J. C. BOUDIER

Externe des Hôpitaux

Moniteur de Physiologie

MEMBRES DU JURY

MM. BAISSET, *Président*

MOREL (L.)

LAPORTE (J.) } *Assesseurs*

MONTASTRUC (P.)

DOUSTE-BLAZY, *Suppléant.*

TOULOUSE

IMPRIMERIE TOULOUSAINE

Vve R. LION

16, Rue Lakanal, 16

1961

INFLUENCE DE L'HYPERVENTILATION SUR L'APNÉE EN PLONGÉE LIBRE

UNIVERSITE DE TOULOUSE

FACULTE MIXTE DE MÉDECINE ET DE PHARMACIE

TABLEAU DU PERSONNEL

DOYEN.	MM.	Lazorthes.
ASSESSEUR.		Delas.
DOYENS HONORAIRES.....		Gorse, Calvet, Lefebvre. Brustier.

PROFESSEURS HONORAIRES

MM. Vallois, Clermont, Ducuing, Ribaut, Nanta, Tapie.

SECTION MEDECINE

PROFESSEURS

Clinique médicale.....	MM	Mériel,
Clinique médicale.....		Gadrat.
Clinique chirurgicale et Gynécologie.		Fabre (P.).
Clinique chirurgicale et du Cancer.		Grimoud.
Clinique chirurgicale infantile et Orthopédie.....		Virenque.
Clinique des Maladies cutanées et syphilitiques.....		Bazex.
Clinique des Maladies de la Tuberculose et Pathologie interne.		Morel.
Clinique des maladies des voies urinaires.....		Lhez.
Clinique médicale infantile et Puériculture.		Sorel (R.).
Clinique de Neurologie et Psychiatrie.		Riser.
Clinique obstétricale.....		Guilhem.
Clinique odonto-stomatologique.		Cadenat.
Clinique ophtalmologique....		Calmettes.
Clinique O.R.L. et de Chirurgie maxillo-faciale.....		Calvet.
Clinique traumatologique des membres.		Rieunau.
Accouchement et Obstétricie sociale.		Pontonnier.
Anatomie.		Lazorthes
Anatomie appliquée.....		Poulhès.
Anatomie pathologique.....		Fabre (J.).
Bactériologie, Hygiène, Médecine sociale.....		Andrieu
Chimie biologique.....		Valdiguié (P.).
Electro-radiologie.		Marquès.
Embryologie.		Broussy.
Histologie.		Bimes.
Hydrologie thérapeutique et Climatologie.		Darnaud.
Médecine légale et du Travail		Planques.
Médecine sociale.....		Bounhoure.
Parasitologie.		Bouisset.
Pathologie chirurgicale.....		Dambrin.
Pathologie générale et Médecine expérimentale.....		Sendrail.
Physico-Chimie.		Auvergnat.
Physiologie.		Soula.
Physiologie appliquée et Pharmacologie.		Baisset.
Physique biologique et médicale.		Bugnard.
Propédeutique médicale		Géraud.
Thérapeutique.		Dardenne.

PROFESSEURS A TITRE PERSONNEL

Anatomie gén. et comparée..	MM.	Coulouma.
Pathologie médicale.....		Laporte J.
Bactériologie.	Mme	Enjalbert.

PROFESSEURS SANS CHAIRE

Physiologie.	MM.	Laporte Y.
Biochimie médicale.....		Douste-Blazy.
Physique médicale.....		Bru.

MAITRES DE CONFERENCES AGREGES

Anatomie pathologique	MM.	Boussou.
Histologie et Embryologie...		Planel.
Parasitologie		Ruffié (J.)
Physiologie		Montastruc.

AGREGES

Pathologie médicale.....	MM.	Monnier.
—		Ribaut.
—		Delaude.
—		Calazel.
Pathologie chirurgicale	MM.	Enjalbert.
—		Ficat.
—		Pasquié.
—		Souquet.
Médecine légale et Médecine du Travail	MM	Grèzes-Rueff.
Odonto-stomatologie.		Cadenat (H.)
Pédiatrie.		Bardier (A.)
Rhumatologie.		Ruffié (R.).

AGREGES LIBRES

Anatomie.	MM.	Thomas.
Obstétrique.		Déodati.
Oto-Rhino-Laryngologie. . .		Claux.
Pathologie chirurgicale.....		Dieulafé.

SECTION PHARMACIE

PROFESSEURS

Botanique, Cryptogamie....	Mme	Dulucq-Mathou.
Chimie analytique, Toxicologie et Hygiène industrielle.	MM.	Bourbon.
Chimie pharmaceutique.....		Blanc.
Zoologie.		Delas.
Matière médicale.....		Vincent.
Pharmacie chimique et Pharmacodynamie.		Caujolle.
Pharmacie galénique.....		Stanislas.

PROFESSEURS A TITRE PERSONNEL

Pharmacie.		M. Couturier.

PROFESSEURS SANS CHAIRE

Sciences naturelles.....	Mlle	Meynier.
	M.	Roux.

MAITRES DE CONFERENCES AGREGES

Sciences naturelles.....	MM.	Breuil-aud.
Sciences physiques.....		Pitet.

PERSONNEL ADMINISTRATIF

Secrétaire principal.....	M.	Roche.
Secrétaire.	Mme	Laffont.

La Faculté déclare n'être pas responsable des opinions émises par les candidats.
(Délibération en date du 12 mai 1891.)

UNIVERSITÉ DE TOULOUSE

FACULTÉ MIXTE DE MÉDECINE ET DE PHARMACIE

Année 1961 N° 69

Influence de l'Hyperventilation sur l'apnée en plongée libre

(Travail de l'Institut Régional d'Education Physique de l'Université de Toulouse)

Directeur : M. le Professeur BAISSET

THÈSE

POUR LE DOCTORAT EN MÉDECINE

Présentée et soutenue publiquement en Juin 1961

PAR

J. C. BOUDIER

Externe des Hôpitaux

Moniteur de Physiologie

MEMBRES DU JURY

MM. BAISSET, *Président*

MOREL (L.)

LAPORTE (J.) } *Assesseurs*

MONTASTRUC (P.)

DOUSTE-BLAZY, *Suppléant.*

TOULOUSE

IMPRIMERIE TOULOUSAINE

Vve R. LION

16, Rue Lakanal, 16

1961

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

A MES PARENTS

A LA MÉMOIRE DE MON GRAND-PÈRE

et

A MA GRAND-MÈRE

En témoignage de profonde reconnaissance.

A MA FEMME

A MON FILS

A MON ONCLE ET A MA TANTE

Avec toute mon affection.

A MA FAMILLE

A TOUS MES AMIS

A NOTRE PRÉSIDENT DE THÈSE

MONSIEUR LE PROFESSEUR BAISSET
Professeur de Physiologie appliquée
et Pharmacologie
Directeur de l'Institut régional d'Education physique
de l'Université de Toulouse
Chevalier de la Légion d'Honneur

Vous avez été pour nous d'une très grande bienveillance. Permettez-nous de vous en remercier respectueusement.

Nous vous dédions ce travail en osant espérer ne pas avoir démérité dans la réalisation de la tâche que vous avez bien voulu nous confier.

A NOTRE JURY DE THÈSE :

Monsieur le Professeur L. MOREL
Professeur de Clinique des Maladies de la Tuberculose et Pathologie interne
Chevalier de la Légion d'Honneur

Cette trop courte année passée dans votre Service nous aura été des plus bénéfiques.

Nous vous remercions aujourd'hui bien vivement pour l'accueil que vous nous avez toujours réservé, et pour l'enseignement que nous vous devons.

Monsieur le Professeur J. LAPORTE
Professeur à la Faculté

Vous nous avez fait un très grand honneur en acceptant de juger notre thèse.

Au cours de nos stages d'externe, nous avons trouvé en vous le maître attentif auquel nous devons aujourd'hui l'essentiel de nos connaissances.

Soyez assuré de notre gratitude et de notre profond respect.

Monsieur le Professeur P. MONTASTRUC
Maître de Conférence agrégé
Sous-Directeur de l'Institut régional d'Education physique de l'Université de Toulouse

Son exemple nous a montré la voie du travail et de la méthode.

A chaque instant, il nous a fait bénéficier de sa grande culture.

Cette thèse n'est que le reflet de notre profonde et sincère reconnaissance.

Monsieur le Professeur DOUSTE-BLAZY
Professeur à la Faculté

Nous gardons de votre enseignement un souvenir respectueux et admiratif.

Nous vous exprimons notre déférente gratitude.

A Monsieur le Professeur Y. LAPORTE
Professeur à la Faculté

Nous avons trouvé auprès de vous un accueil des plus chaleureux, et vous nous avez manifesté bien des marques de confiance.

Nous nous emploierons en toutes circonstances à ne pas vous décevoir.

Soyez certain de notre grande admiration et de notre entier dévouement.

A Monsieur le Docteur P. BESSOU
Chef de Travaux au Laboratoire de Physiologie

Depuis le début de nos études à la Faculté, vous nous avez guidé de vos conseils éclairés et patients.

Nous vous en gardons une grande reconnaissance.

Nous voudrions vous exprimer ici l'assurance de notre respectueux attachement.

A Monsieur H. ROUCH
Inspecteur principal
Chef du Service académique de la Jeunesse
et des Sports
Chevalier de la Légion d'Honneur

A Monsieur E. CARRON
Inspecteur de la Jeunesse et des Sports
Directeur du Centre régional d'Education physique
et sportive
Officier de la Légion d'Honneur

A Monsieur le Professeur E. CADENAT
Professeur de Clinique odonto-stomatologique

En témoignage de gratitude.

A Monsieur le Docteur J. DIRAT
Chef de Clinique des Maladies de la Tuberculose

En gage de respectueuse amitié.

A TOUS NOS MAITRES
DE LA FACULTÉ ET DE L'HOPITAL

A NOS MAITRES DE CONFERENCE
D'EXTERNAT

AUX CANDIDATS AU PROFESSORAT
D'ÉDUCATION PHYSIQUE
DE L'UNIVERSITÉ DE TOULOUSE

AU PERSONNEL DU LABORATOIRE
DE PHYSIOLOGIE

Introduction

Au cours de ce travail, qui a pu être réalisé à l'Institut régional d'Éducation physique de l'Université de Toulouse, avec le concours des élèves candidats au professorat d'éducation physique (deuxième partie), nous nous sommes proposé d'étudier l'influence d'une *hyperventilation* préalable sur l'apnée effectuée en plongée libre.

Nous avons ainsi cherché :

1° A comparer les temps d'apnée et les distances parcourues en plongée,

a) sans hyperventilation préalable ;

b) après une hyperventilation réalisée pendant deux à trois minutes au rythme de dix à douze mouvements respiratoires forcés par minute.

2° A étudier, au cours de ces deux épreuves, les modifications de la pression sanguine artérielle et du rythme cardiaque.

3° A pratiquer des mesures de la réserve alcaline, avant et après la plongée, au cours de ces deux épreuves, afin d'en étudier les variations possibles dans l'un et l'autre cas.

Nous avons ainsi organisé ce travail en trois chapitres :

I. — Bases physiologiques.

II. — Recherches personnelles.

A) *Techniques.*
Description de l'épreuve d'apnée.

B) *Résultats.*

1° Les temps d'apnée et les distances parcourues au cours des deux épreuves.

2° Les variations de la pression sanguine artérielle et du rythme cardiaque.

3° Les modifications de la réserve alcaline.

III. — Interprétation des résultats.

I

BASES PHYSIOLOGIQUES

I. – Bases physiologiques

L'existence de mouvements inspiratoires et de mouvements expiratoires successifs, la mise en jeu de muscles très divers en respiration calme ou forcée, l'adaptation de la ventilation pulmonaire à certaines variations métaboliques, le fait même que la fonction respiratoire ne dépend pas de la volonté, impliquent la présence de centres respiratoires fonctionnant sur un mode intrinsèque, mais susceptibles de s'adapter aux besoins de l'organisme.

De nombreux auteurs, tels :

Lorry (1760), Le Gallois (1872), Flourens (1912), Gad et Marinesco (1892),

avaient déjà constaté, chez l'animal, l'existence de centres respiratoires dans la région bulbaire. De 1939 à 1946, les travaux de Pitts, Magoun et Ranson précisèrent qu'il existait, au niveau de la région du bulbe, deux centres distincts, pairs et symétriques, inspiratoire et expiratoire, pouvant être mis en jeu séparément par des incitations diverses.

Les travaux de Pitts ont montré également la prédominance, au point de vue fonctionnel, du centre inspiratoire sur le centre expiratoire.

D'après ces mêmes auteurs, la rythmicité respiratoire est assurée grâce à l'inhibition périodique du centre inspirateur, par des influx provo-

qués par la décharge des mécanorécepteurs pulmonaires sensibles à la distension, et transmis au centre inspirateur par voie vagale.

Divers facteurs peuvent modifier le fonctionnement du centre respiratoire :

— Certains facteurs de nature chimique agissent par *action directe* ou *centrale.*

La composition chimique du sang, qui vient irriguer les neurones des centres nerveux bulbaires, règle le rythme respiratoire.

Parmi ces agents chimiques, le gaz carbonique joue un rôle fondamental.

Hermann, en 1870, puis Miescher-Rush, en 1885, avaient déjà insisté sur le rôle du gaz carbonique au niveau des centres bulbaires, en montrant que toute augmentation du pourcentage de ce gaz, dans l'air inspiré, entraînait une hyperventilation réactionnelle.

En 1890, Léon Fredericq, par sa belle expérience de circulation croisée, apporte la preuve expérimentale de l'influence du gaz carbonique sur les mouvements respiratoires : « Il existe une relation étroite entre la composition chimique du sang circulant au niveau de l'extrémité céphalique, et l'activité des mouvements respiratoires. »

Haldane, en 1905, démontrait la sensibilité particulière de l'organisme aux variations, même faibles, du taux de gaz carbonique.

— Une élévation de la pression partielle du gaz carbonique de l'air alvéolaire de 1,5 mm Hg entraîne une ventilation double de la normale.

En 1913, Haldane et Hobson montraient que la diminution du pourcentage de gaz carbonique dans l'air inspiré avait des effets inverses.

— Une baisse de la pression partielle du gaz car-

bonique de l'air alvéolaire de 1,5 mm Hg est susceptible d'entraîner un ralentissement notable de la respiration, pouvant aller jusqu'à l'apnée. Et le même auteur insistait sur le fait que l'hyperventilation volontaire était capable de provoquer une baisse très importante de la pression partielle du gaz carbonique alvéolaire, et provoquer de ce fait une apnée de durée variable.

En 1926, J. F. et C. Heymans reprenaient l'expérience de circulation croisée de L. Fredericq, en utilisant une préparation destinée à maintenir en vie une tête isolée, par anastomoses des carotides et des jugulaires aux vaisseaux provenant du tronc d'un chien perfuseur.

Dans ces conditions, la tête perfusée, mais isolée, présente des mouvements respiratoires autonomes, mis en évidence par les mouvements du larynx, et dépendant des variations de la composition chimique du sang en provenance du chien perfuseur.

En 1938, Stella, utilisant la profondeur de l'apneusis temporaire, par blocage des pneumogastriques à l'aide du froid, comme critère d'activité du centre inspirateur, constatait que l'inhalation d'un air renfermant 8 % de gaz carbonique double, au moins, la profondeur de l'apneusis. L'accroissement de la profondeur de l'apneusis sous l'effet du gaz carbonique, montre que les cellules du centre inspirateur sont plus actives, et que le nombre des cellules actives a augmenté. Ainsi donc, par action directe, centrale, les variations, même faibles, du taux de gaz carbonique dans le sang circulant agissent de façon spécifique sur les cellules nerveuses des centres bulbaires.

L'augmentation de la fréquence et de l'amplitude des mouvements respiratoires sous l'effet du gaz carbonique, peut s'expliquer de la manière sui-

vante, en se référant au schéma proposé par PITTS pour expliquer la périodicité respiratoire. Le gaz carbonique active un plus grand nombre de cellules et augmente la fréquence de leurs décharges. En conséquence, la contraction des muscles inspirateurs, du diaphragme en particulier, est à la fois plus rapide et plus ample.

Dans ces conditions, pour arriver à inhiber efficacement les neurones inspirateurs suractivés par le gaz carbonique, il faut un plus grand nombre d'influx inhibiteurs.

Dans l'hypercapnie, l'inhibition du centre inspirateur se produira donc pour une distension plus importante du poumon, capable d'entraîner une décharge suffisante des tensorécepteurs.

La question s'est posée de savoir si l'action du gaz carbonique sur le centre respiratoire traduisait l'effet spécifique des ions CO_3H^- ou seulement l'augmentation du taux des ions H^+ dans le sang.

Certes, l'abaissement du pH est en lui-même capable d'exciter le centre inspirateur, mais il semble toutefois que les ions CO_3H^- exercent une action particulière sur les neurones du centre respiratoire, car un même excès d'ions H^+ est plus efficace, s'il provient de la dissociation de l'acide carbonique. Cette action élective de l'ion CO_3H^- repose sans doute sur sa grande diffusibilité, qui lui permet de pénétrer rapidement et à forte concentration dans le centre respiratoire.

Ainsi, les centres respiratoires bulbaires sont-ils susceptibles d'accorder leur fonctionnement aux variations du taux sanguin de gaz carbonique.

— Par une augmentation de la ventilation, lorsque le caractère veineux du sang vient à augmenter ;

— Par une diminution de la ventilation, lorsque le sang tend à s'artérialiser, ce phénomène pouvant aller jusqu'à l'apnée.

La température du sang et l'adrénalinémie sont également capables d'agir directement sur le bulbe, pour provoquer une hyperventilation.

— D'autres facteurs agissent par mécanisme *réflexe.*

Cette modalité de suractivité respiratoire succède à la stimulation appropriée de divers récepteurs sensitifs :

1° Stimulation des chémorécepteurs glomiques, aortiques et carotidiens, par l'élévation du taux du gaz carbonique sanguin et la réduction de la pression partielle de l'oxygène dans le sang artériel (stimulus oxygène).

2° Stimulation des tensorécepteurs de l'oreillette droite, sous l'effet de la réplétion atriale, consécutif à l'augmentation du retour veineux. (Réflexe de Bainbridge.)

3° Stimulation des mécanorécepteurs articulaires et musculaires, au cours du mouvement.

— Enfin, d'autres facteurs agissent par mécanisme *intercentral,* c'est-à-dire par la mise en jeu de voies d'association, entre les centres bulbo-encéphaliques et le centre respiratoire.

Ainsi les influx en provenance des aires corticales sont susceptibles de modifier l'activité respiratoire.

Ce facteur cérébral, déclenché notamment par la tension émotionnelle, intervient dans le contrôle de certains types d'exercice musculaire.

C'est le cas de tout exercice avec effort, au cours duquel existe un blocage total ou incomplet de la

musculature ventilatoire ; c'est aussi le cas des exercices comportant des réactions émotives ou mettant en jeu des réflexes conditionnés.

L'existence de ce facteur cérébral est encore établie par la possibilité de modifier ou de suspendre volontairement la ventilation. La volonté peut en effet interrompre la respiration durant un certain temps, mais la durée de ce contrôle est évidemment fonction du degré d'activité des neurones du centre inspirateur.

Ainsi, en hypercapnie, la suspension volontaire du rythme respiratoire est-elle plus difficile à soutenir. Les autres facteurs d'activation du centre respiratoire agissent évidemment pour limiter aussi la portée de l'inhibition corticale.

La part respective de ces divers agents de régulation varie avec les différents types d'exercices : elle peut notamment varier avec la température ambiante et l'humidité relative.

Dans certains exercices dynamiques existe un phénomène d'effort comparable à celui qui est observé dans l'exercice statique très intense de courte durée.

Dans ce type d'exercice dynamique, une course de 100 mètres, par exemple, et, *a fortiori*, un parcours en plongée libre accompagné d'apnée, le sujet prend généralement une grande inspiration au moment du départ et effectue toute la course le thorax bloqué, ou bien réalise une expiration lente et saccadée.

A l'arrêt de cet exercice avec effort, une hyperventilation considérable apparaît (Cara *et* Sadoul, 1953) ; elle est essentiellement en rapport avec des stimuli humoraux où, sans doute, la variation acide du pH et l'hyperadrénalinémie jouent le rôle le plus important (Dejours, 1959).

L'importance des facteurs humoraux dans la régulation de la respiration au cours de l'exercice dynamique avec effort, et la possibilité, d'autre part, pour un sujet donné d'abaisser son taux sanguin de gaz carbonique par la manœuvre d'hyperventilation volontaire, nous ont ainsi conduit à étudier le retentissement d'une hyperpnée préalable sur l'apnée en plongée libre.

Nous nous sommes alors proposé de mesurer non seulement les variations des temps d'apnée et des distances parcourues en plongée, mais aussi les variations éventuelles de la pression sanguine artérielle et du rythme cardiaque, ainsi que de la réserve alcaline.

II

RECHERCHES PERSONNELLES

A. — TECHNIQUES.

B. — RÉSULTATS.

A. – TECHNIQUES

1° Description de l'épreuve d'apnée sans hyperventilation préalable.

2° Description de l'épreuve d'apnée après hyperventilation.

II. - RECHERCHES PERSONNELLES

A) Technique

DESCRIPTION DE L'ÉPREUVE D'APNÉE.

1° SANS HYPERVENTILATION PRÉALABLE.

a) *Préparation à la plongée.*

Le sujet se place debout face au plan d'eau. Il réalise une expiration forcée suivie d'une inspiration forcée. Cette manœuvre a pour but de fournir au plongeur une certaine quantité d'air frais correspondant à une capacité vitale.

Le sujet renouvelle ainsi son volume de réserve expiratoire. En outre, cette technique permet au plongeur, en ayant devant lui un temps expiratoire, de prolonger son séjour sous l'eau puisque, à la fin de l'apnée, il sera en mesure d'expirer lentement, lorsque l'activité inspiratoire reprend ses droits.

b) *Départ.*

Le départ s'effectue au pied, ce qui revient à dire que le sujet plonge sans commandement, à l'instant qui lui paraît le plus propice.

c) *Plongée proprement dite.*

Dès la plongée, le sujet se trouve en apnée.

La durée de cette apnée est, dans ce cas, fonction du volume gazeux maximum que le plongeur a pu faire pénétrer dans ses poumons.

2° Après une hyperventilation préalable.

a) *Préparation à la plongée.*

Le sujet se place, dans les mêmes conditions, debout- face au plan d'eau.

Mais il doit réaliser avant la plongée une manœuvre d'hyperventilation. Cette hyperventilation préalable consiste en des mouvements inspiratoires et expiratoires de grande amplitude, au rythme de dix à douze par minute, pendant deux à trois minutes.

Ce délai de deux à trois minutes correspond à peu près au délai optimum nécessaire pour qu'apparaisse l'apnée.

C'est à partir de ce délai que le sujet commence à ressentir les premiers symptômes de l'alcalose gazeuse due à la baisse progressive du taux de gaz carbonique dans le sang circulant (fourmillements au niveau des extrémités, sensation d'euphorie, parfois même vertiges).

L'hyperventilation détermine ainsi un phénomène d'apnée, dont la durée est variable suivant les individus, et qui s'accompagne rarement de malaises plus importants que ceux que nous avons cités.

Le sujet en apnée peut encore réaliser des mouvements respiratoires volontaires, mais il n'éprouve plus le besoin de respirer. Son centre respiratoire bulbaire n'est plus stimulé.

b) *Départ.*

Il a lieu dans les mêmes conditions que dans l'épreuve précédente.

Il s'effectue après un dernier cycle respiratoire mobilisant un volume gazeux correspondant à une capacité vitale d'air renouvelé.

c) *Plongée proprement dite.*

Au cours de cette dernière épreuve, la durée de l'apnée dépend :

— comme dans le premier cas, du volume gazeux maxima que le sujet a pu faire pénétrer dans ses poumons,

— mais aussi de la durée de non-stimulation du centre respiratoire.

On peut ainsi obtenir, après une hyperventilation préalable, des temps d'apnée plus importants que ceux obtenus au cours d'une épreuve effectuée dans les conditions habituelles.

Au cours des nombreuses plongées auxquelles nous avons assisté, nous n'avons remarqué aucun inconvénient à plonger « après une inspiration forcée ».

Le renouvellement avant la plongée du volume de réserve inspiratoire, ne gêne en aucune façon le témoin, pourvu que ce dernier évolue le plus près possible du fond du bassin.

B. - RESULTATS

I) Temps d'apnée et distances parcourues

1° Temps d'apnée et distances parcourues au cours des deux épreuves.

2° Comparaison des résultats obtenus au cours des deux épreuves.

3° Facteurs qui conditionnent l'apnée.

4° Modifications des facteurs de l'apnée.

B. - RESULTATS

I) Temps d'apnée et distances parcourues

1° Temps d'apnée et distances parcourues au cours des deux épreuves.

a) *Plongée sans hyperventilation.*

Noms	*Distances en mètres*	*Temps en secondes*
Bridoux.	40	48"
Valet.	25	22"
Lalès.	25	25"
Labiosse.	25	24"
Borel.	25	28"
Carissoni.	28	25"
Dupouy.	30	30"
Frayssinet.	25	26"
Cillières.	20	20"
Lenoir.	30	32"
Delpeyroux.	15	20"
Largot.	25	29"
Chébeau.	25	20"
Guerpillon.	20	18"
Ghého.	15	12"
Cairatti.	20	20"
Bandet.	30	32"

b) *Plongée après hyperventilation.*

Noms	*Distances en mètres*	*Temps en secondes*
Bridoux.	75	100"
Valet.	35	33"
Lalès.	35	33"
Labiosse.	50	60"
Borel.	35	40"
Carissoni.	35	38"
Dupouy.	35	40"
Frayssinet.	25	30"
Cillières.	25	35"
Lenoir.	45	45"
Delpeyroux.	30	35"
Largot.	60	68"
Chébeau.	50	47"
Guerpillon.	30	30"
Cairatti.	35	35"
Bandet.	48	50"

2° Comparaison des résultats obtenus au cours des deux épreuves.

a) *Amélioration des performances chez tous les sujets.*

Au cours de la seconde épreuve, « plongée après une hyperventilation préalable » de deux à trois minutes, au rythme de dix à douze mouvements respiratoires par minute, on constate que tous les élèves candidats au professorat d'Education physique (deuxième partie), qui ont participé aux deux épreuves, ont amélioré à la fois :

— la durée de leur apnée,

— la distance parcourue en plongée,

dans des proportions variables suivant les sujets.

b) *Ainsi deux groupes de résultats.*

La lecture des temps d'apnée et des distances parcourues en plongée permet de constater qu'on peut classer les dix-sept plongeurs en deux groupes :

— le premier groupe est composé de huit plongeurs qui ont amélioré

leur distance parcourue d'au moins 15 mètres,
leur temps d'apnée d'au moins 15 secondes ;

— le deuxième groupe est composé de neuf plongeurs qui ont amélioré leur performance, mais à un degré moindre :

leur distance parcourue de moins de 15 mètres,
leur temps d'apnée de moins de 15 secondes.

Premier groupe « fort ».

Les meilleurs résultats furent réalisés par : Bridoux, Largot, Labiosse, Chebeau, Bandet, Lenoir, Cairatti, Delpeyroux.

Le tableau qui fait suite permet de mieux apprécier les *gains* en distance et en durée de ces huit plongeurs.

Noms	*Pas d'hyperventil.* —		*Hyperventilation* —	
	Distance	Durée	Distance	Durée
Bridoux.	40	48"	75	100"
Largot.	25	29"	62	68"
Labiosse.	25	24"	50	60"
Chébeau.	25	20"	50	47"
Bandet.	30	32"	48	50"
Lenoir.	30	30"	45	45"
Cairatti.	20	20"	35	35"
Delpeyroux.	15	20"	30	35"

La manœuvre de l'*hyperventilation* a permis à ces huit plongeurs d'améliorer de façon très sensible leurs performances :

Noms	*Gains en distance*	*Gains en temps*
Bridoux.	35	52"
Largot.	37	39"
Labiosse.	25	36"
Chébeau.	25	27"
Bandet.	18	18"
Lenoir.	15	15"
Cairatti.	15	15"
Delpeyroux.	15	15"

Les variations du temps d'apnée et des distances parcourues en plongée peuvent être représentées sur un graphique, pour chacun des deux groupes de candidats.

Les graphiques obtenus utilisent les mêmes coordonnées.

— Les distances parcourues, en mètres, sont portées en ordonnées ;

— Les temps d'apnée, en secondes, sont portés en abscisses.

L'échelle des coordonnées est la même pour les deux groupes.

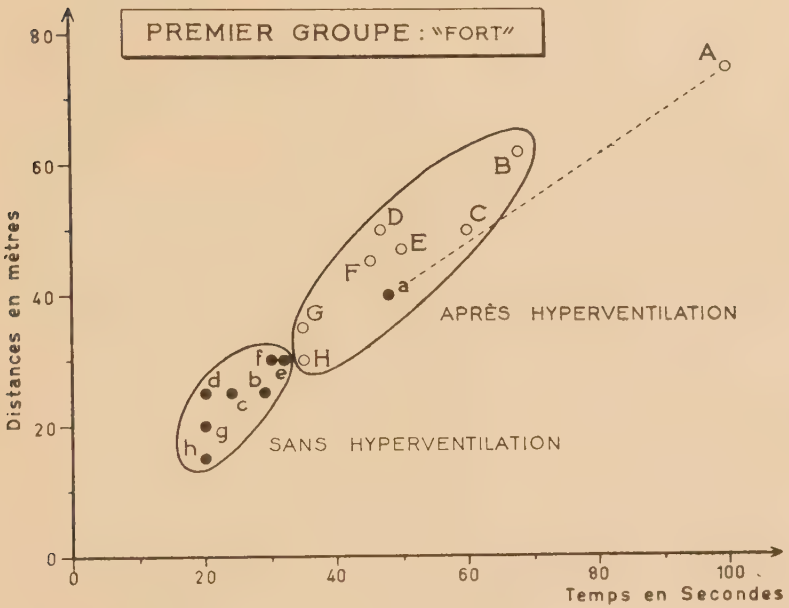
Les candidats sont chacun représenté par une lettre et un symbole.

Une minuscule indique leurs performances, en temps et en distance parcourue, sans le secours d'une hyperventilation.

La majuscule correspondante, les performances qui furent réalisées après hyperventilation.

Les symboles utilisés sont représentés par un cercle plein qui correspond à la lettre minuscule, par un cercle évidé qui correspond à la lettre majuscule.

Nous avons pu, de la sorte, indiquer par un seul symbole les positions parfois identiques de deux candidats différents.



GRAPHIQUE N° 1.

Il traduit les performances effectuées par le premier groupe de candidats, dit groupe « FORT », celui dans lequel les performances ont été les meilleures.

Nous avons entouré chaque série de coordonnées par un nuage, afin de mieux faire apparaître les gains en temps et en durée, au cours de la plongée apéès hyperventilation.

Deuxième groupe « faible »

Tous les nageurs du second groupe ont également amélioré leurs performances, mais à un degré moindre.

Ce sont, par ordre :

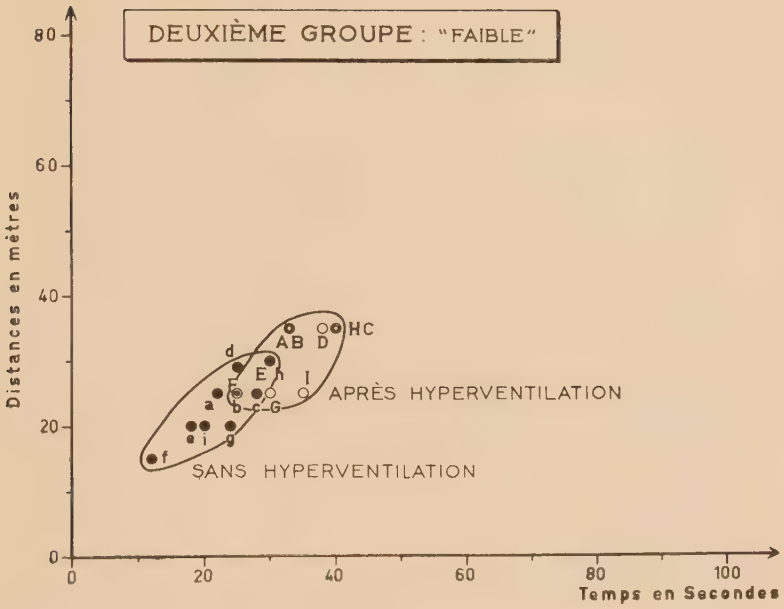
VALET, LALÈS, BOREL, CARISSONI, GUERPILLON, GUÉHO, FRAYSSINET, DUPOUY, CILLIÈRES.

Nous pouvons classer de la même manière leurs performances sur un tableau, pour mieux apprécier leurs gains :

Noms	*Pas d'hyperventil.* — Distance	Durée	*Hyperventilation* — Distance	Durée
Valet.	25	22"	35	33"
Lalès.	25	25"	35	33"
Borel.	25	28"	35	40"
Carissoni.	28	25"	35	38"
Guerpillon.	20	18"	30	30"
Guého.	15	12"	25	25"
Frayssinet.	20	24"	25	30"
Dupouy.	30	30"	35	40"
Cillières.	20	20"	25	35"

La manœuvre d'*hyperventilation* a permis aussi à ces plongeurs d'améliorer leurs performances :

Noms	*Gains en distance*	*Gains en durée*
Valet.	10	11"
Lalès.	10	8"
Borel.	10	12"
Carissoni.	7	13"
Guerpillon.	10	12"
Guého.	10	13"
Frayssinet.	5	6"
Dupouy.	5	10"
Cillières.	5	15"



GRAPHIQUE N° 2.

Il traduit les performances du deuxième groupe de candidats, dit groupe « FAIBLE », pour exprimer le fait que les résultats obtenus, bien qu'améliorés au cours de l'épreuve de plongée après hyperventilation, l'ont été moins nettement.

Dans le même but, nous avons également entouré chaque série de coordonnées par un nuage.

3° Facteurs qui conditionnent l'apnée.

a) *Un nageur de compétition est-il nécessairement un « bon plongeur »?*

Au cours de ce travail, que nous avons réalisé chez des jeunes gens en excellente condition physique, nous nous sommes proposés de rechercher une correspondance possible entre les performances réalisées par un nageur de compétition et par celles d'un plongeur.

Les mesures que nous avons pratiquées nous permettent d'affirmer qu'il n'y a pas forcément un parallélisme constant entre la possibilité pour un athlète donné de nager le « 100 mètres nage libre » en un excellent temps et celle de réaliser de bonnes plongées.

C'est ainsi qu'un bon nageur de compétition, tel Guerpillon, capable de nager le « 100 mètres nage libre » en moins de 1 mn 5 sec, ne réalise pas des performances en apnée en accord avec ses temps sur 100 mètres.

C'est en effet un plongeur moyen, qui réalise des apnées de 18 secondes pour 20 mètres, sans le secours de l'hyperventilation, et de 30 secondes pour 30 mètres après une hyperpnée préalable.

Par contre, un sujet comme Bridoux, qui n'est pas à proprement parler un nageur de compétition, c'est-à-dire un nageur capable de réaliser un « temps » sur une distance donnée, effectue des plongées de 48 secondes pour 40 mètres, sans le secours de l'hyperventilation, et de 100 secondes pour 75 mètres après une hyperpnée préalable.

En fait, si l'on connaît des nageurs de compétition capables de réaliser d'excellentes apnées en plongée, on ne peut affirmer aucun parallélisme entre ces deux disciplines.

Les mécanismes physiologiques sont en effet assez différents, en natation de compétition et en plongée.

1) Dans le cas d'une épreuve de compétition, que ce soit au cours d'une épreuve brève, « sprint », comme un 100 mètres, ou d'une épreuve de plus longue durée, « demi-fond, comme un 400 ou un 800 mètres, le système cardio-vasculaire du nageur doit adapter son rythme et son débit aux exigences d'un organisme en plein effort.

A chaque systole, le cœur doit chasser dans le système artériel une quantité de sang suffisante, bien oxygénée, pour satisfaire aux besoins du système musculaire.

Le rythme cardiaque, ainsi que le débit, augmente en proportions notables, en même temps que le rythme respiratoire s'accélère.

La natation de compétition exige donc une adaptation du cœur à l'effort, qui peut être contrôlée au cours de l'entraînement du nageur par les tests classiques de résistance du cœur à l'effort, tels ceux de Crampton, Ruffier, Flack.

L'entraînement apporte au nageur la possibilité de se mettre en souffle, c'est-à-dire d'adapter son rythme cardiaque et son rythme respiratoire à l'effort exigé.

2) Au cours de la plongée, que ce soit après hyperventilation ou sans hyperventilation, le plongeur se trouve placé dans des conditions différentes.

Il détient dans ses poumons une certaine quan-

tité d'oxygène, qui constitue une réserve dont le volume est évidemment variable d'un sujet à un autre.

Au cours de la plongée, le nageur se trouve en apnée ; pendant toute la durée de cette apnée, le sang puise dans cette réserve constituée avant la plongée l'oxygène nécessaire au bon fonctionnement de l'organisme.

La plongée dure tant que dure la réserve en oxygène et ne nécessite pas cette adaptation simultanée du rythme cardiaque et du rythme respiratoire.

Le cœur peut s'accélérer, mais généralement bien moins qu'au cours d'une épreuve compétitive en surface.

b) *Facteurs conditionnant l'apnée.*

La durée d'une apnée en plongée paraît donc être fonction :

— du volume gazeux et, par suite, du volume d'oxygène que le sujet est susceptible de faire pénétrer dans ses poumons ;

— de la consommation d'oxygène par unité de temps du sujet ;

— de la résistance du sujet à l'asphyxie, une fois la réserve en oxygène épuisée.

1. *La durée de l'apnée est fonction de la réserve en* O_2.

Nous avons vu, au cours d'un précédent chapitre, comment le sujet se préparait à la plongée. Il réalise une expiration forcée, suivie d'une inspiration forcée, chassant ainsi son air de réserve expiratoire et faisant pénétrer dans ses poumons une quantité maxima d'air correspondant à une capacité vitale.

Il plonge ainsi avec un volume d'air renouvelé maxima et, par conséquent, avec une réserve en oxygène maxima.

2. *La durée de l'apnée est fonction de la consommation en oxygène par unité de temps.*

Ce facteur est également variable d'un individu à un autre. Il dépend du métabolisme, du besoin en oxygène réclamé par l'organisme, et ne peut pratiquement pas être modifié.

3. *La durée de l'apnée est fonction de la résistance du sujet à l'asphyxie.*

Cette résistance du sujet à l'asphyxie peut être appréciée grâce au test de l'apnée après expiration forcée.

Le plongeur en apnée lutte contre les influx inspiratoires en provenance de son centre bulbaire.

Le manque d'air introduit de plus un sentiment d'angoisse, facteur subjectif, qui diminue bien souvent la durée de la plongée.

4° Modifications des facteurs conditionnant l'apnée.

On voit bien que, parmi ces différents facteurs qui conditionnent la plongée,

il en est que l'on peut modifier dans le but d'améliorer les performances,

il en est d'autres sur lesquels on peut difficilement agir dans les conditions normales de plongée.

1. *Facteurs physiques.*

L'amélioration des facteurs physiques :

— « capacité vitale » du sujet,

— « entraînement » à la nage en plongée,

peut permettre d'espérer une augmentation de la distance parcourue et de la durée de l'apnée.

a) *Capacité vitale.*

Elle dépend de l'intégrité de l'appareil respiratoire (plèvres et parenchyme pulmonaire),

du bon fonctionnement des muscles respiratoires et surtout du muscle diaphragme,

du degré d'ampliation du thorax et, par conséquent, des dimensions de la cage thoracique.

Si le premier facteur est nécessaire en soi, les facteurs suivants peuvent être nettement améliorés par la pratique d'une gymnastique respiratoire bien comprise visant, d'une part, à bien ouvrir le thorax, en permettant à l'individu d'augmenter son périmètre thoracique, et, d'autre part, à tonifier les muscles respiratoires, inspiratoires et ex-

piratoires, en insistant surtout sur le jeu diaphragmatique.

En augmentant ainsi la capacité vitale du nageur, on peut espérer augmenter sa réserve en oxygène et, par conséquent, reculer les limites de l'apnée.

b) *L'entraînement.*

L'entraînement à la plongée et une technique parfaite permettront également d'améliorer à la fois les temps d'apnée et les distances parcourues.

Cet entraînement se propose deux buts :

— d'une part, habituer le plongeur à l'immersion, ce qui peut contribuer à diminuer le facteur subjectif d'angoisse en plongée ;

— d'autre part, améliorer le style du plongeur en lui apprenant à nager en « économisant », c'est-à-dire :

... en nageant aussi profond que possible, tout au moins en bassin, de manière à profiter de l'impulsion provoquée par la masse d'eau sus-jacente ;

... en allant jusqu'au bout de course des mouvement de brasse, le nageur en plongée devant tirer parti au maximum de son ciseau, ses mouvements devant être lents, mais poussés à l'extrême.

Le plongeur peut ainsi améliorer son rendement, c'est-à-dire le nombre de mètres parcourus par unité de temps.

Ainsi donc une capacité vitale accrue augmente la réserve d'oxygène du plongeur.

Un entraînement à la plongée bien conduit lui permet de tirer le maximum de sa réserve en oxygène et de limiter ce facteur subjectif d'anxiété en l'habituant à l'immersion.

2. *Consommation d'oxygène par minute.*

Le sujet entraîné économise vraisemblablement de l'O_2 en évitant les efforts superflus et mal dirigés.

Sa consommation d'oxygène par minute doit donc diminuer dans des proportions notables pour se rapprocher au maximum d'une consommation d'oxygène par minute au repos.

Mais il est clair que ce facteur est lié à des variations individuelles sur lesquelles il est pratiquement impossible d'agir de façon efficace (métabolisme de base, sécrétions thyroïdiennes, par exemple).

3. *Résistance à l'asphyxie.*

Le facteur subjectif ayant été éliminé dans les limites du possible par l'habitude à l'immersion, il va sans dire que lors d'une plongée classique, c'est-à-dire *sans hyperventilation* préalable, on ne peut empêcher le plongeur d'avoir à lutter à chaque instant contre les influx inspiratoires en provenance des centres bulbaires.

Bien au contraire, dès le début de la plongée, ce centre est de plus en plus stimulé par l'élévation du taux de gaz carbonique dans le sang, résultant des combustions tissulaires.

Le sujet étant en apnée, tout le gaz carbonique produit ne peut être éliminé par la respiration et s'accumule dans le torrent circulatoire.

Le sujet en apnée volontaire lutte pendant tout le temps de l'épreuve contre des influx en provenance du centre bulbaire, qui vont en s'amplifiant du fait de l'élévation progressive de la teneur en gaz carbonique du sang.

— Au cours de la deuxième série d'épreuves, plongée libre en apnée, après une hyperventilation préalable, le sujet se trouve placé dans des conditions différentes.

— Avant la plongée, le sujet réalise une manœuvre d'hyperventilation au rythme de dix à douze cycles respiratoires par minute, pendant deux à trois minutes, technique qui a été décrite dans un précédent chapitre.

— Au fur et à mesure de cette hyperpnée, le taux sanguin du gaz carbonique s'abaisse parallèlement à l'appauvrissement en gaz carbonique de l'air alvéolaire.

Il s'ensuit, plus ou moins rapidement un état d'alcalose gazeuse entraînant progressivement une diminution de la stimulation du centre inspiratoire bulbaire, qui peut aller jusqu'à l'apnée.

— Si cette apnée a pu être obtenue, le sujet plonge après avoir réalisé volontairement une dernière expiration forcée suivie d'une inspiration forcée, lui permettant de faire pénétrer dans ses poumons une quantité maxima d'air correspondant en volume à une capacité vitale, volume d'air très pauvre en gaz carbonique, très riche en oxygène.

— Dès le début de la plongée, le sujet se trouve en apnée par mécanisme réflexe, et possède une réserve aérienne particulièrement riche en oxygène.

Dans ces conditions, le sujet hyperventilé, dont le centre inspiratoire n'est plus stimulé de par l'appauvrissement considérable du sang en gaz carbonique, n'aura plus à lutter contre la survenue d'influx en provenance des centres bulbaires, pendant un certain temps, ce qui lui permettra d'augmenter en de notables proportions la durée de son apnée en plongée.

Il gagnera ainsi une période de temps correspondant à la durée d'inhibition de ses centres nerveux bulbaires.

Mais, peu à peu, l'accumulation progressive du gaz carbonique dans le sang circulant réveille le centre bulbaire, qui reprend bientôt une activité normale.

Ce gain de temps, nous l'avons vu, est considérable : il atteint près de quarante secondes chez certains sujets.

Il semble donc ainsi que la manœuvre d'*hyperventilation volontaire* précédant la plongée, en retardant la survenue des influx inspiratoires, diminue cette sensation de manque d'air et permette au plongeur d'améliorer ses performances, à la fois en durée et en distance parcourue.

II) Variations de la pression sanguine artérielle et du rythme cardiaque

---

1° Techniques des prises de pression.

2° Énoncé comparatif des résultats enregistrés au cours des deux épreuves.

A) *Plongée sans hyperventilation.*

B) *Plongée après hyperventilation.*

3° Comparaison des résultats obtenus.

A) *Comparaison des pressions sanguines artérielles :*

1. Au cours de l'épreuve d'apnée sans hyperventilation ;
2. Au cours de l'épreuve d'apnée après hyeprventilation.

B) *Comparaison des valeurs du rythme cardiaque :*

1. Au cours de la plongée sans hyperventilation.
2. Au cours de la plongée après hyperventilation.

II) Variations de la pression sanguine artérielle et du rythme cardiaque

1° Techniques des prises de pression.

Après avoir apprécié l'amélioration des performances réalisées en plongée par tous les candidats de l'Institut régional d'Education physique, grâce à la manœuvre de l'hyperventilation préalable, nous nous sommes proposé d'étudier les modifications possibles de la pression sanguine artérielle et du rythme cardiaque au cours des deux épreuves de plongée.

— Au cours de la première épreuve, c'est-à-dire au cours de la plongée libre sans hyperventilation préalable, nous avons procédé aux prises de tension artérielle et de pouls juste avant la plongée et juste après la plongée dès la sortie de l'eau.

— Au cours de la seconde épreuve, c'est-à-dire au cours de la plongée sans hyperventilation, nous avons procédé aux prises de tension artérielle et de pouls avant même que le sujet réalise la manœuvre d'hyperventilation, puis en fin de plongée, dès la sortie de l'eau.

2° Énoncé comparatif des résultats enregistrés au cours des deux épreuves.

Nous avons jugé intéressant de présenter ces résultats sous forme de tableau :

au cours de la plongée sans hyperventilation,

au cours de la plongée après hyperventilation.

A. *Plongée sans hyperventilation.*

Noms	Avant l'apnée			Après l'apnée		
	Pression artérielle			*Pression artérielle*		
	Max.	Min.	*Pouls*	Max.	Min.	*Pouls*
Bridoux. . .	13,5	8,5	76	16,5	8,5	104
Largot . . .	11	6	72	14,5	7,5	80
Lenoir. . . .	11	6,5	84	17	8	80
Dupouy . . .	13,5	7	84	18	9	80
Delpeyroux .	14	7	80	17	9	60
Cairatti. . .	12	7	88	18	10	76
Bandet . . .	11	7	76	16	8,5	80
Frayssinet. .	13	8	68	16	8	72
Guerpillon. .	13	8	60	17	8	64

B) *Plongée après hyperventilation.*

Noms	Avant l'apnée			Après l'apnée		
	Pression artérielle			*Pression artérielle*		
	Max.	Min.	*Pouls*	Max.	Min.	*Pouls*
Bridoux. . .	14,5	7,5	70	15,5	8	90
Largot . . .	11	6	68	12	7	88
Lenoir. . . .	11	6,5	64	12	7	80
Dupouy . . .	12	6,5	64	13,5	7,5	98
Delpeyroux .	12	6,5	72	14	7	100
Cairatti. . .	13	7	84	15	8	120
Bandet . . .	11	6	68	13	7	120
Frayssinet. .	14	9	80	15	9	88
Guerpillon. .	15	8	56	15	8	100
Guého. . . .	14	8	56	15	8	104
Chébeau. . .	15	9	76	15	9	80

3° Comparaison des résultats obtenus.

A) *Comparaison des pressions sanguines artérielles.*

1. *Au cours de l'épreuve d'apnée sans hyperventilation.*

Noms	*Modifications de la maxima*	*Modifications de la minima*
Lenoir.	6 cm Hg	1,5 cm Hg
Cairatti.	6 —	3 —
Bandet.	5 —	1,5 —
Dupouy.	4,5 —	2 —
Guerpillon.	4 —	0 —
Largot.	3,5 —	1,5 —
Bridoux.	3 —	0 —
Delpeyroux.	3 —	2 —
Frayssinet.	3 —	0 —

Le tableau ci-dessus permet de mettre en évidence une augmentation de la pression sanguine artérielle chez tous les plongeurs.

Les modifications de cette pression sanguine artérielle sont d'ailleurs variables suivant les sujets.

— Pour la pression artérielle maxima, ou encore pression systolique, les modifications oscillent entre :

3 cm Hg

6 cm Hg (Cairatti, Lenoir).

— Pour la pression minima, ou encore pression diastolique, les modifications oscillent entre :

0 cm Hg

3 cm Hg (Cairatti).

Au cours de cette épreuve d'apnée sans hyperventilation préalable, les modifications de la pres-

sion sanguine artérielle maxima sont dans l'ensemble supérieures à celles portant sur la minima.

Il est bon d'ailleurs de remarquer que l'élévation de la pression systolique est parfois assez marquée malgré la brièveté relative de l'épreuve d'apnée.

Exemple :

Lenoir : maxima + 6 cm Hg pour 30 m en 30 sec.
minima + 1,5 cm Hg

2. *Au cours de l'épreuve d'apnée après hyperventilation.*

Noms	*Modifications de la maxima*	*Modifications de la minima*
Cairatti.	2 cm Hg	1 cm Hg
Bandet.	2 —	1 —
Delpeyroux.	2 —	0 —
Dupouy.	1,5 —	1 —
Largot.	1 —	1 —
Lenoir.	1 —	0,5 —
Bridoux.	1 —	0,5 —
Frayssinet.	1 —	0 —
Guerpillon.	0 —	0 —
Chébeau.	0 —	0 —
Ghého.	1 —	0 —

La lecture du tableau ci-dessus permet de constater au cours de cette seconde épreuve :

— Des variations de la pression sanguine artérielle, plus importantes au niveau de la maxima que de la minima ;

— Des variations générales moins marquées que celles observées après une plongée sans hyperventilation préalable ;

— Pour la pression systolique, les variations oscillent entre :

2 cm Hg (Cairatti, Delpeyroux),
0 cm Hg (Guerpillon, etc.) ;

— Pour la pression diastolique, les variations oscillent entre :

0 cm Hg (Delpeyroux),
1 cm Hg (Dupouy, etc.) ;

— Les variations de la pression sanguine artérielle sont donc inférieures au cours de la plongée après hyperventilation, et pourtant, au cours de cette seconde épreuve, la durée de l'apnée est plus grande, l'espace parcouru est plus grand, et par conséquent l'effort est plus marqué.

Ces modifications tensionnelles peuvent être représentées sur un graphique.

GRAPHIQUE N° 3.

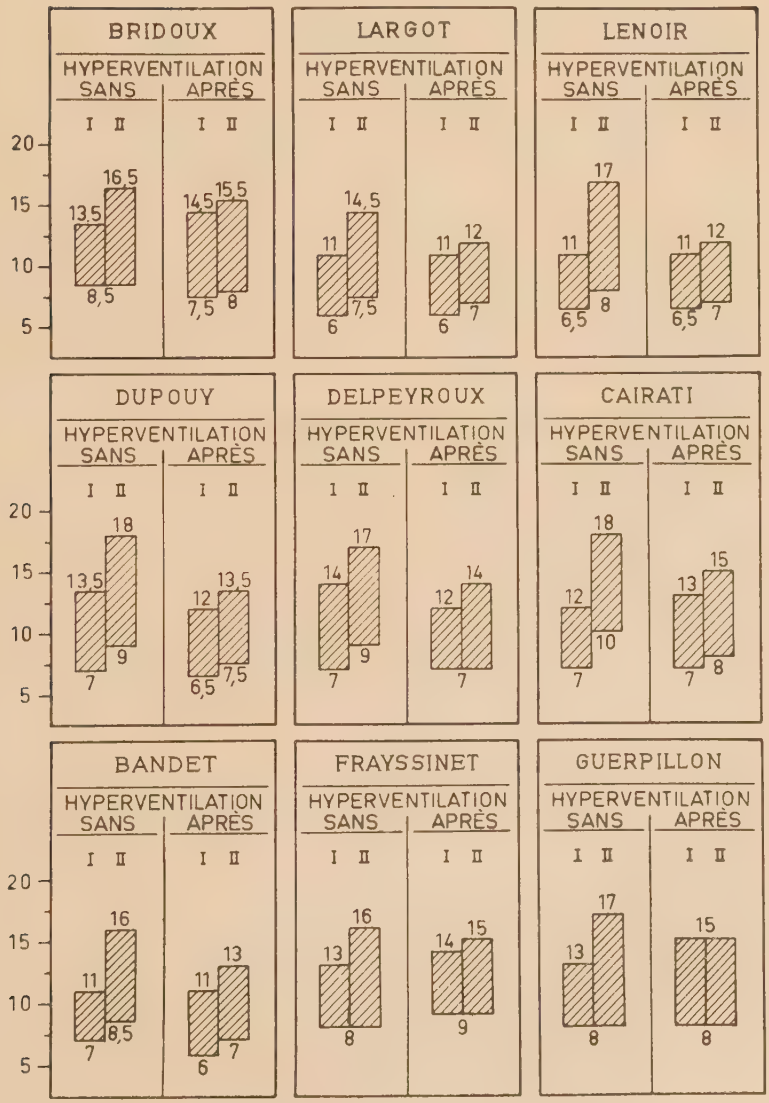
Ce graphique traduit les modifications tensionnelles constatées après chacune des deux épreuves de plongée.

Les tensions artérielles ont été prises avant et après la plongée, et inscrites suivant la technique employée en milieu hospitalier.

A chaque candidat correspond donc quatre valeurs tensionnelles :

deux pour l'épreuve d'apnée sans hyperventilation préalable,
deux pour l'épreuve d'apnée après hyperventilation.

MODIFICATIONS de la TENSION ARTÉRIELLE
au COURS des DEUX ÉPREUVES



B) *Comparaison des valeurs du rythme cardiaque.*

1. *Au cours de la plongée sans hyperventilation.*

Noms	Variations du rythme cardiaque		
	Avant l'apnée	*Après l'apnée*	*Variations*
—	—	—	—
Delpeyroux. .	80	60	— 20
Cairatti.	88	76	— 12
Lenoir.	84	80	— 4
Dupouy.	84	80	— 4
Bandet.	76	80	+ 4
Guerpillon. ..	60	64	+ 4
Frayssinet. ..	68	72	+ 4
Largot.	72	80	+ 8
Bridoux.	76	104	+ 28

La lecture du tableau ci-dessus nous permet d'apprécier, au cours de cette première épreuve, des modifications du rythme cardiaque oscillant entre :

— 20 (Delpeyroux),
+ 28 (Bridoux).

D'autre part, quatre plongeurs présentent en fin de plongée des *bradycardies* par rapport à leur rythme de base.

Nous pouvons enfin nous faire une idée de l'accélération moyenne du pouls en fin de première épreuve :

variations positives..... 48
variations négatives. 40
différence. . . . . + 8
moyenne. . . . . 8/9=1

2. *Au cours de la plongée après hyperventilation.*

Noms	Variations du rythme cardiaque		
	Avant l'apnée	*Après l'apnée*	*Variations*
Delpeyroux. .	72	100	+ 28
Cairatti.	84	120	+ 36
Lenoir.	64	80	+ 16
Dupouy.	64	98	+ 34
Bandet.	68	88	+ 20
Largot.	68	88	+ 20
Guerpillon. ..	56	100	+ 44
Frayssinet. ..	80	120	+ 40
Bridoux.	70	90	+ 28

L'importance des différences constatées apparaît encore mieux sur le tableau ci-dessous :

Noms	*Variations du rythme sans hyperventil.*	*Variations du rythme après hyperventil.*
Delpeyroux.	— 20	+ 28
Cairatti.	— 12	+ 36
Lenoir.	— 4	+ 16
Dupouy.	— 4	+ 34
Bandet.	+ 4	+ 20
Largot.	+ 8	+ 20
Guerpillon.	+ 4	+ 44
Frayssinet.	+ 4	+ 40
Bridoux.	+ 28	+ 20

Au cours de cette deuxième épreuve, les modifications du rythme cardiaque oscillent entre :

+ 44 (Guerpillon),

+ 16 (Lenoir).

Tous les plongeurs présentent des accélérations du rythme cardiaque.

Nous pouvons calculer l'accélération moyenne du rythme :

variations positives..... 258
moyenne..... 258/9=29

Nous pouvons représenter sur un graphique ces modifications du rythme au cours des deux épreuves.

GRAPHIQUE N° 4.

Ce graphique met en évidence les modifications du rythme cardiaque, telles qu'elles ont été constatées au terme de chacune des deux épreuves.

Nous avons encore utilisé la représentation graphique du pouls, en usage en milieu hospitalier.

A chaque candidat correspond ainsi deux courbes du rythme cardiaque, l'une pour la plongée sans hyperventilation préalable, l'autre pour celle précédée d'une manœuvre d'hyperventilation.

Les chiffres extrêmes représentent les valeurs du pouls, avant la plongée et après la plongée.

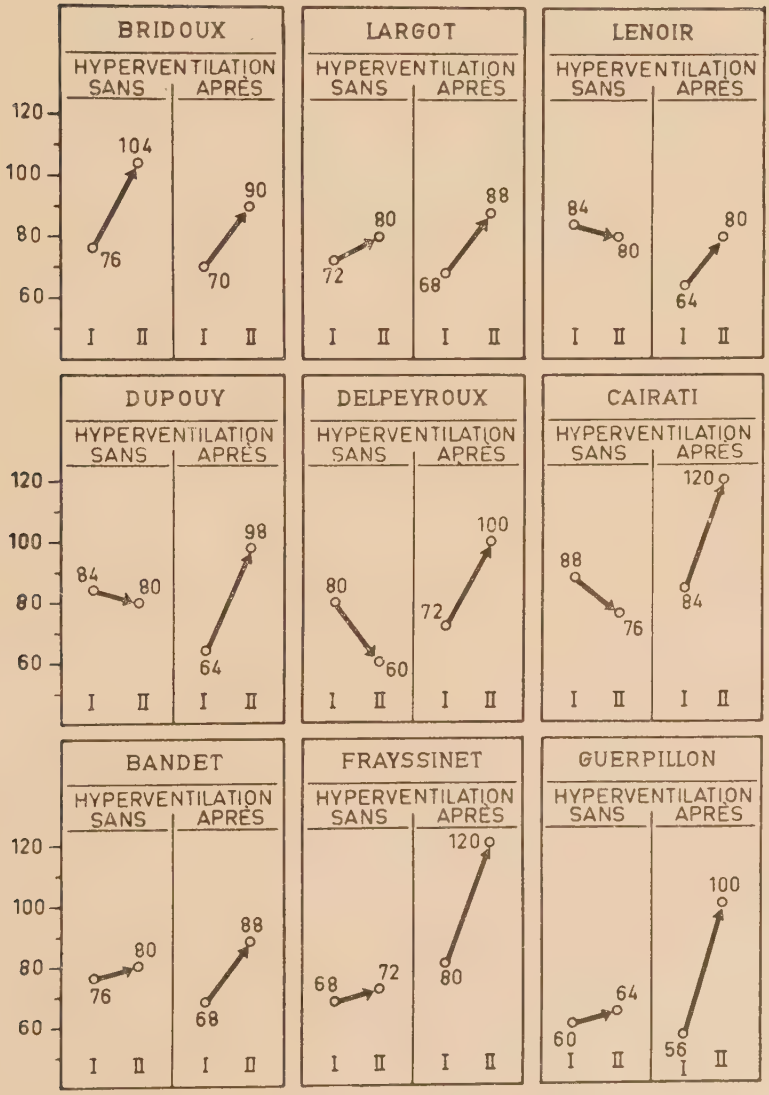
Les mesures du rythme cardiaque semblent donc montrer que le cœur s'accélère davantage au cours de la deuxième épreuve, c'est-à-dire au cours de la plongée après une manœuvre d'hyperventilation.

On peut ainsi penser :

1) Qu'au cours de l'épreuve d'apnée sans hyperventilation préalable, l'organisme s'adapte par :

— une nette augmentation de la pression sanguine artérielle portant à la fois sur la pression systolique et sur la pression diastolique ;

MODIFICATIONS du RYTHME CARDIAQUE
au COURS des DEUX ÉPREUVES



— une accélération modeste du rythme cardiaque, et souvent par une *bradycardie.*

2) Qu'au cours d'une épreuve d'apnée après hpyerventilation préalable, l'organisme s'adapte par :

— une hausse modeste de la pression sanguine artérielle portant à la fois sur la pression systolique et sur la pression diastolique ;

— une très nette accélération du rythme cardiaque.

III) Modifications de la réserve alcaline

1° Technique des prélèvements sanguins.

2° Résultats :

A) *Plongée sans hyperventilation.*

B) *Plongée après hyperventilation.*

III) Modifications de la réserve alcaline

Pour conclure ce travail, il nous restait à apprécier les modifications éventuelles de la *réserve alcaline* au cours des deux épreuves et d'en comparer les résultats.

Au cours de la première épreuve, les prélèvements ont été réalisés juste avant la plongée et juste après la plongée dès la sortie de l'eau.

Au cours de la seconde épreuve, les prélèvements ont été effectués juste avant la manœuvre d'hyperventilation et juste après la plongée dès la sortie de l'eau.

Nous tenons à faire remarquer que les mesures ont été gênées par un nombre réduit de volontaires (cinq au départ, nous-même y compris) et par l'abandon de deux d'entre eux après la survenue de syncopes, dès les premiers prélèvements, vraisemblablement d'origine émotive vagale.

2° Résultats.

Les mesures des réserves alcalines au cours des deux épreuves, nous ont donné les résultats suivants :

A) *Plongée sans hyperventilation.*

Noms	RÉSERVES ALCALINES	
	Avant l'apnée	*Après l'apnée*
Largot. . . . . (40 m en 40 sec)	62 vo 68	61 vo 10
Boudier. . . . . (25 m en 30 sec)	57 vo 68	55 vo 74

B) *Plongée après hyperventilation.*

Noms	RÉSERVES ALCALINES	
	Avant l'apnée	*Après l'apnée*
Largot. . . . . (65 m en 68 sec)	60 vo 31	56 vo 84
Boudier. . . . . (40 m en 50 sec)	63 vo 80	59 vo 80

III

INTERPRETATIONS DES RESULTATS

III. – Interprétations des résultats

1° Temps d'apnée et distances parcourues.

La manœuvre d'hyperventilation précédant la plongée a permis à tous les plongeurs participant aux épreuves d'améliorer dans une large mesure leurs performances.

Dans un précédent chapitre, nous avons vu comment l'entraînement physique à la plongée, ainsi qu'une gymnastique respiratoire bien comprise, étaient susceptibles d'améliorer les qualités athlétiques du plongeur et de l'habituer à l'immersion.

Ces facteurs ne sont d'ailleurs nullement négligeables pour préparer un sujet à l'épreuve d'apnée. Mais, dans les conditions habituelles de plongée, on ne peut supprimer cette impression de manque d'air, ce facteur subjectif d'anxiété, provoqué dès le début de la plongée par la lutte continuelle du nageur contre les influx inspiratoires en provenance de son centre bulbaire, dont l'intensité s'accroît avec l'accumulation progressive du gaz carbonique dans le sang.

C'est ce besoin d'oxygène, progressivement accru par l'effort réalisé, qu interdit au plongeur de pousser plus avant ses performances au cours de l'é-

preuve d'apnée réalisée dans les conditions habituelles.

Au cours d'une plongée réalisée après des mouvements respiratoires de grande amplitude, qui ont pour effet de diminuer considérablement les pressions partielles alvéolaires du gaz carbonique et, par suite, son pourcentage dans le sang circulant, la plongée s'effectue dans des conditions telles que le centre bulbaire est pratiquement au repos. Durant cette période, de durée variable, mais souvent considérable, le plongeur n'est plus soumis aux influx venant de son centre respiratoire, à l'origine de cette impression pénible de manque d'air, et la durée de la plongée s'accroît parrallèlement à celle de mise en repos des centres nerveux.

Il est donc vraisemblable que l'augmentation des temps d'apnée et des distances parcourues en plongée, après une manœuvre d'hyperventilation préalable, soit effectivement due à cette période plus ou moins longue de moindre stimulation des centres inspiratoires bulbaires.

2° Variations de la pression sanguine artérielle et du rythme cardiaque.

Les mesures de la pression sanguine artérielle et du rythme cardiaque, que nous avons pratiquées au cours de ces deux séries d'épreuves, avant et après la plongée, nous ont permis de constater les faits suivants :

— Après une épreuve d'apnée sans hyperventilation, l'organisme semble s'adapter par :

une accélération modeste du rythme cardiaque, et parfois même une bradycardie;

une élévation sensible de la pression sanguine.

— Au contraire, après une épreuve d'apnée suivant une manœuvre d'hyperventilation, l'organisme semblerait réagir par :

une accélération importante du rythme cardiaque ;

une élévation modeste de la pression sanguine.

a) *Plongée sans hyperventilation.*

Au cours de la plongée sans hyperpnée préalable, le nageur réalise un effort de durée relativement brève, de l'ordre de trente à quarante secondes.

Il y a, à ce mometn, mise en jeu d'une régulation cardio-vasculaire dans le sens d'une adaptation à l'effort.

Dès le début de la plongée, le cœur s'adapte par un effet inotrope positif, c'est-à-dire par une augmentation de l'intensité de la contraction ventriculaire durant la systole. Cet effet inotrope positif a pour conséquence d'élever la pression sanguine artérielle. Le cœur n'augmente pas la fréquence de ses contractions tant que cette élévation de la pression sanguine reste suffisante pour entretenir une circulation périphérique satisfaisante en quantité et en oxygénation.

L'augmentation de la pression intrathoracique, due à l'inspiration forcée précédant immédiatement la plongée, contribue à retarder l'accélération du rythme cardiaque, ce qui se traduit dans quelques cas par une bradycardie relative.

b) *Plongée après hyperventilation.*

Au cours de cette épreuve, l'effort accompli par le plongeur est, sinon plus grand, tout au moins

de plus longue durée, atteignant parfois cent secondes.

Dans ce cas, le système cardio-vasculaire s'adapte non seulement par effet inotrope positif ayant pour effet d'entraîner une élévation de la pression sanguine, mais encore par effet chronotrope positif, dont résulte une accélération du rythme cardiaque.

Ces deux facteurs d'adaptation circulatoire à l'effort seront d'ailleurs mis en jeu avec d'autant plus d'intensité que la plongée se poursuivra plus longtemps. Il semblerait d'ailleurs que les moindres valeurs de la pression sanguine artérielle, constatées au cours de la deuxième épreuve de plongée, soient dues à un phénomène de vaso-dilatation.

Nous avons en effet remarqué assez souvent, lors de nos prélèvements sanguins, une saillie très accusée des veines périphériques à la fin des plongées précédées d'une manœuvre d'hyperventilation, traduisant la vaso-dilatation, qui pourrait être à l'origine d'une élévation peu importante de la pression sanguine artérielle.

Ainsi donc la manœuvre d'hyperventilation préalable permettrait non seulement au plongeur d'améliorer notablement ses performances, mais encore, en mettant en jeu une régulation cardio-vasculaire moins brutale, expliquerait cette impression d'effort moins intense ressentie par tous les sujets.

Durant les expériences de plongée auxquelles nous avons assisté et parfois même participé, nous avons en effet remarqué que l'impression de fatigue était presque toujours bien moindre lorsque l'épreuve d'apnée avait été précédée d'une manœuvre d'hyperventilation.

Cette observation, qui nous semble présenter un

intérêt particulier, paraît être controversée par celles recueillies par Albert B. Craig junior, de New York. Dans une publication au journal de l'Association médicale américaine, *Journal American of Medical Association*, du 29 avril 1961, l'auteur dénonce la possibilité de perte de conscience et, plus souvent encore, de phénomènes d'amnésie portant sur le déroulement de l'épreuve, au cours de plongées réalisées avec ou sans manœuvre d'hyperventilation préalable.

D'autre part, les docteurs Gian Carlo Ricci et Mario Ricordati auraient observé des accidents de type syncopal au cours de plongées réalisées en apnée après manœuvre d'hyperventilation chez des sujets prédisposés (neurodystoniques).

Nous pensons toutefois que l'incidence de ces divers accidents est surtout attribuable,

soit à une prédisposition particulière du nageur,

soit à une complète négligence des précautions indispensables à prendre avant toute épreuve de plongée.

Il importe, en particulier, d'éviter un effort physique trop considérable avant l'apnée (match de water-polo), un repas trop copieux, ou une longue exposition au soleil, facteurs pouvant prédisposer le sujet à la survenue d'un réflexe inhibiteur cadio-respiratoire, tel qu'on le décrit au cours du phénomène d'hydrocution.

3° Modifications de la réserve alcaline.

On aurait pu penser que sous l'effet de l'hyperventilation et de l'alcalose gazeuse consécutive, la réserve alcaline ne varierait pas sensiblement au cours de l'épreuve d'apnée effectuée après hyperpnée.

Nous avons constaté, au contraire, que la baisse de la réserve alcaline était plus considérable dans ce dernier cas que lors d'une plongée effectuée sans hyperventilation préalable.

Cette tendance paradoxale à l'acidose au cours de l'épreuve d'apnée après hyperventilation, tient au fait que, d'une part, l'effort fourni par le sujet est de plus longue durée et que, d'autre part, les prélèvements ont été effectués dans une veine périphérique.

Ainsi peut-on expliquer la baisse parfois plus marquée de la réserve alcaline au cours de la plongée après hyperpnée. Il est cependant regrettable que cette étude ait été gênée par un nombre très restreint de prélèvements.

CONCLUSIONS

L'ensemble des mesures que nous avons pratiquées chez les candidats au professorat d'Education physique, deuxième partie, et la surveillance constante que nous avons exercée au cours de ce travail, nous permettent d'affirmer que, sous réserve des précautions habituelles que l'on doit prendre avant toute plongée, la manœuvre d'hyperventilation donne au plongeur :

non seulement la possibilité d'améliorer ses performances, en temps et en distance parcourue, mais encore de réaliser des plongées de plus longue durée, avec moins de fatigue, en mettant en jeu une régulation cardio-vasculaire à l'effort moins brutale.

Ainsi donc, cette manœuvre d'hyperventilation semble pouvoir être recommandée à tout candidat à la plongée, ainsi qu'aux élèves préparant le professorat d'Education physique, dans le but de leur permettre d'accomplir plus aisément l'épreuve d'apnée inscrite au programme de leur année d'étude.

Cette épreuve consiste, en effet, à parcourir trois fois, en plongée libre, une distance de quinze mètres en vingt secondes. Au cours des dernières années, celle-ci a d'ailleurs été à l'origine d'accidents

plus ou moins sévères, allant de la simple céphalée à la syncope.

Dans les conditions habituelles de plongée, c'est donc un effort assez pénible que l'on demande aux candidats.

Nous pensons sincèrement que la méthode de préparation à la plongée, telle que nous l'avons décrite au cours de ce travail, en demandant au nageur un effort moins intense, lui permet d'améliorer sans danger l'ensemble de ses performances.

Le Président de Thèse :

BAISSET

Vu, le Doyen :
Pour le Doyen,
L'Assesseur :
DELAS.

Vu et permis d'imprimer.

Toulouse, le 8 juin 1961.

Le Recteur,
Président du Conseil de l'Université :
P. DOTTIN.

BIBLIOGRAPHIE

1. CARA M., SADOUL P. — Essai de séméiologie spirographique appliquée à la pneumologie. — *Poumon,* 1953, *9,* 295-327.
2. CRAMPTON C. W. — Preoperative test of circulatory efficiency. — *Anesth. Analg.,* 1937, *16,* 310-311.
3. CRAIG A. B. (Jr). — Underwater swimming and loss of consciousness. — *Journ. Amer. Med. Assoc.,* 1961, *176,* 4, 255-258.
4. DEJOURS P. — La régulation de la ventilation au cours de l'exercice musculaire chez l'homme. — *Journ. Physiol.,* 1959, *51,* 163-261.
5. FLACK M. — Some simple test of physical efficiency. — *Lancet,* London, 1919, *I,* 210-212.
6. FREDERICQ L. — Uber die Gerinnung von Eiweiss durch hitze. — *Centralbl. Physiol.,* Leipz. et Wien, 1889-1890, *III,* 601.
7. — Sur la circulation céphalique croisée, ou échange de sang carotidien entre deux animaux. — *Arch. Biol.,* Gand et Leipz., 1890, *X,* 127-130.
8. GAD J., MARINESCO G. — Recherches expérimentales sur le centre respiratoire bulbaire. — *C. R. Acad. Sc. Paris,* 1892, *CXV,* 444-447.
9. HEYMANS J. F., HEYMANS C. — Sur le mécanisme de l'apnée réflexe ou pneumogastrique. — *C. R. Soc. Biol.,* Paris, 1925, *XCII,* 1335-1338.
10. HEYMANS J. F., HEYMANS C. — Sur le tonus respiratoire pneumogastrique et la régulation réflexe de la respiration. — *C. R. Soc. Biol.,* Paris, 1926, *XCIV,* 399-402.

11. HEYMANS J. F., HEYMANS C. — Action stimulante réflexe de l'anémie sur la respiration de la tête isolée du chien. — *C. R. Soc. Biol.,* Paris, 1926, *XCIV,* 1255-1257.

12. HEYMANS J. F., HEYMANS C. — Recherches physiologiques et pharmacodynamiques sur la tête isolée du chien. II. Sur l'influence respiratoire et pneumogastrique de l'adrénaline, de l'atropine, de la pituitrine, de la nicotine et des digitaliques. — *Arch. Intern. Pharmacodyn.,* Bruxelles et Paris, 1926, *XXXII,* 9-41.

13. MAGOUN H. W., RHINES R. — Inhibitory mechanism in bulbar reticular formation. — *Journ. Neurophysiol.,* 1946, *9,* 165-171.

14. MIESCHER-RUSCH F. — Bemerkungen zur lehre von den Athembewegungen. — *Gdnkschr. z. Eröffn. d. Vesalianum,* Leipz., 1885, 85-110.

15. — Bemerkungen zur lehre von den Athembewungen. (From : *Gdnkschr. z. Eröffn. d. Vesalianum,* Leipz.) *Ibid,* 1885, 355-380.

16. PITTS R. F., MAGOUN H. W., RANSON S. W. — Localization of medullary respiratory centers in cat. — *Amer. Journ. Physiol.,* 1939, *126,* 673-688.

17. PITTS R. F. — Organisation of respiratory center. — *Physiol. Rev.,* 1939-1946, *26,* 609-630.

18. — Respiratory center and its descending pathways. — *Journ. Neurol.,* 1940, *72,* 605-625.

19. RICCI G. C., RICORDATI M. — Nage sous-marine en apnée. Observations physio-pathologiques et chimiques pour un jugement médico-pratique. — *Journ. Méd. Educ. phys. et Sports,* 1956, 11, 83-96.

20. RUFFIER. — L'indice de résistance du cœur. Comment il se prend et les résultats qu'il donne. — *Journ. Méd. Educ. phys. et Sports,* 1955, 1, 38-41.

21. STELLA G. — On site of respiratory centers. — *Arch. Internat. Pharmacodyn. Therap.,* 1937, *57,* 349-356.

22. — On mechanism of production and physiological significance of « apneusis ». — *Journ. Physiol.,* 1938, *93,* 10-23.

23. — Dependance of activity of « apneustic center » on carbon dioxyde of arterial blood. — *Journ. Physiol.,* 1938, *93,* 263-275.

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION. 13

— *Bases physiologiques* 15

— *Recherches personnelles* 25

A) Technique. 27

B) Résultats. 30

I. — TEMPS D'APNÉE ET DISTANCES PARCOURUES 31

II. — VARIATIONS DE LA PRESSION SANGUINE ARTÉRIELLE ET DU RYTHME CARDIAQUE 47

III. — MODIFICATIONS DE LA RÉSERVE ALCALINE 59

Interprétations des résultats 62

1° Temps d'apnée et distances parcourues 65

2° Variations de la pression sanguine artérielle et du rythme cardiaque 66

3° Modifications de la réserve alcaline 70

— *Conclusions*. 71

Dépôt légal 2e trim. 61, Aa. 361

Imp Toulousaine (Vve LION), 16, rue Lakanal — TOULOUSE